

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikka / kone- ja laitossuunnittelu

Anssi Kokko

LASIHUOPAKONEEN ENERGIA TEHOKKUUDEN PARANTAMINEN LEIJU-
KUIVAIMEN POISTOILMAN LÄMMÖNTALTEENOTOLLA

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikka

KOKKO, ANSSI

Lasihuopakoneen energiatehokkuuden parantaminen leiju-
kuivaimen poistoilman lämmöntalteenotolla

Insinöörityö

26 sivua + 8 liitesivua

Työn ohjaaja

Pt. tuntiopettaja Hannu Sarvelainen

Toimeksiantaja

Ahlstrom Glassfibre Oy

Maaliskuu 2014

Avainsanat

talteenotto, savukaasupesuri, levylämmönsiirrin,
energiansäästö, energiatuki

Tämän insinöörityön tarkoituksena oli suunnitella Ahlstrom Glassfibren Karhulan tehtaalle lämmöntalteenottolaitteisto lisäämään energiatehokkuutta tehtaalla. Työn tavoitteena oli tehdashallin lämmitykseen käytettävän kaukolämmön korvaaminen osittain lasihuopakoneen kuivausuunien hukkalämmöllä. Suunnittelussa hyödynnettiin koulussa opittua energiatekniikan laskentaa ja työssä hankittua prosessiosaamista.

Työssä esitellään ensin tehtaan historiaa ja kerrotaan yleisellä tasolla lasihuovan valmistusprosessista. Kuivausuuneja selvitetään tarkemmin, koska LTO-laitteisto hyödyntää uunien hukkalämpöä.

Ensisijaisesti oli tarkoitus hyödyntää tehtaalta löytyviä laitteita. Suunnittelun lähtökohtana oli tehtaan katolla olevan savukaasupesurin hyödyntäminen, koska yksi kuivausosan poistokanava oli jo valmiiksi liitetty pesuriin. Pesurilta saatava teho toimi kaiken mitoituksen perustana. Tämän perusteella laskettiin tarvittavat jäähdytysvesimäärät savukaasulle ja valittiin sopivat komponentit siirtämään teho tehtaan lämmitysjärjestelmään.

Lopuksi arvioidaan investoinnin kannattavuutta ja esitellään muita mahdollisia energiansäästökohteita. Lasketaan mahdollinen kaukolämmön säästö ja investoinnin takaisinmaksuaika.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

KOKKO, ANSSI

Improving Glassfibre Tissue Line Energy Efficiency with
Air Dryer Energy Recovery System

Bachelor's Thesis

26 pages + 8 pages of appendices

Supervisor

Hannu Sarvelainen, Lecturer

Commissioned by

Ahlstrom Glassfibre Corp.

March 2014

Keywords

heat recovery, flue gas washer, plate heat exchanger, saving energy

The purpose of this thesis was to design heat recovery system to increase the energy efficiency of the Ahlstrom Glassfibre Karhula plant. The aim was to reduce the cost of district heating and replace it with the energy recovery system. The theory of energy technology and understanding of processes were utilized in the design.

The aim was primarily to take advantage of devices that are found in the factory. The starting point of design was the flue gas washer on the roof of the factory. One of the flue gas pipes was already attached to this washer. There was a large amount of thermal energy loss through the washer and the task was to recover some of the energy and use it for factory heating. The calculation started from thermal power that was possible to recover. Other devices in the system were measured based on this result.

This energy recovery system saves a lot of money and enables investments to similar systems in the future. In a large plant, there are many possibilities to save energy and improve profitability.

This thesis increased my understanding of the energy savings potential in the industry.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SYMBOLILUETTELO

1	JOHDANTO	6
2	AHLSTROM GLASSFIBRE OYJ	7
	2.1 Lasihuopakoneen historia	7
	2.2 Lasihuopakone	8
3	LTO-LAITTEISTON TOIMINTAPERIAATE	10
	3.1 Yleistä	10
	3.2 Savukaasupesuri	10
	3.3 Pesuvesisäiliö	12
	3.4 Pumppu	12
	3.5 Lämmönsiirrin	12
	3.6 Sähkö ja automaatio	14
4	LASKELMAT	15
	4.1 Savukaasuista saatava energia	15
	4.2 Lämmönsiirtimen mitoitus	21
5	PROJEKTIN KANNATTAVUUS	23
	5.1 Kaukolämmön säästöpotentiaali	23
	5.2 Muita energiansäästömahdollisuuksia	25
6	YHTEENVETO	26

LIITTEET

Liite 1. Päästömittausraportti

SYMBOLILUETTELO

A	Levy­lämmönsiir­timen lämmönsiirto ala	[m ²]
c_p	Savukaasun ominais­lämpö­kapasiteetti	[kJ/kgK]
k	Lämmönsiirtokerroin	[W/m ² °C]
LMTD	Logaritminen keskilämpötilojen ero	[°C]
q_m	Savukaasun massavirta	[kg/s]
R_{sk}	Savukaasun kaasuvakio	[J/kgK]
T_{sk}	Savukaasun lämpötila	[K, °C]
v_{sk}	Savukaasun virtausnopeus	[m/s]
ΔT	Lämpötilan muutos	[K]
ρ_{sk}	Savukaasun tiheys	[kg/m ³]
Φ_{sk}	Savukaasun teho	[kW]

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön lähtökohtana on lasihuopakoneen kuivausosan poistoilmojen hyödyntäminen rakennuksen lämmityksessä. Lämmityksen tarve korostui, kun tehtaan toimintaa tehostettiin sulkemalla useita tuotantolinjoja. Suljetut linjat sisälsivät runsaasti lämmönlähteitä, jotka huolehtivat rakennuksen lämmityksestä talviaikana. Tehtaalla on ollut käytössä kaukolämpö lisälämmön lähteenä lähinnä konttoritilojen lämmitystä ja sosiaalitilojen käyttövesien lämmitystä varten. Nyt kaukolämpöä on jouduttu käyttämään myös tehdashallin tyhjien osien lämmityksen.

Tämän työn tarkoituksena on tutkia eri vaihtoehtoja, miten saada kuivainosan poistoilmoja hyödynnettyä osana tehtaan lämmitystä. Poistoilmojen likaisuuden takia alusta alkaen oli selvää, että kyseeseen tulisi lämmöntalteenottojärjestelmä. Tavoitteena on myös hyödyntää tehtaalla olevia komponentteja järjestelmän toteutuksessa. Tästä johtuen päädyttiin leijukuivaimen poistoilmapuhallin kakkosen hyödyntämiseen. Tehtaan katolla poistopuhaltimen ulospuhallusaukon läheltä löytyy savukaasupesuri, jota on käytetty yhden suljetun tuotelinjan savukaasujen puhdistukseen. Muu järjestelmään tarvittava laitteisto kerätään tehtaan suljetuilta tuotelinjoilta.

Työssä selvitetään tehtaan historiaa ja käydään tuotantoprosessi läpi hyvin yleisellä tasolla. Käydään läpi leijukuivaimen toimintaperiaate, savukaasupesurien toimintaperiaate ja lämmöntalteenottojärjestelmän toimintaa. Mitoitusarvojen perusteella etsitään käyttötarkoitukseen sopivat laitteet. Niiden perusteella tehdään järjestelmän energiansäästölaskelmat. Tehdään arvio investointikustannuksista ja arvioidaan takaisinmaksuaika.

Lisäksi esitellään ajatuksia muista energiansäästämahdollisuuksista tehtaalla ja kerrotaan lyhyesti, miten tällaisiin investointeihin voi saada tukia.

2 AHLSTROM GLASSFIBRE OYJ

2.1 Lasihuopakoneen historia

Lasihuovan tuotanto Karhulassa käynnistyi vuonna 1968, kun A. Ahlström Osakeyhtiö ja ruotsalainen Skandinavian Glasfiber Ab perustivat Karhulan Kuitulasi Oy:n. Aluksi tuotanto oli Karhulanniemen kärjessä, Sahaniemessä aivan Kymijoen suulla. Ensimmäinen kone oli metrin levyinen ja sillä valmistettiin lähinnä bitumikattohuopan runkomateriaalia. Lasihuopatuotanto siirtyi joen toiselle puolelle Jumalniemeen uuteen tehtaaseen vuonna 1973. Silloin käytössä oli kaksi metriä leveä kone. Sillä alettiin 1970-luvun loppupuolella tekemään myös vaativampia joustovinyylimattojen runkomateriaaleja. (Karhulan teollistuminen, 2007.)

1980-luvun alkuvuosina Ahlström kehitti niin sanotun disroteknologian. Tämän teknologian etuna on pieni vedenkulutus. Se kuluttaa vettä vain 10 % siitä määrästä, mikä tarvittiin vesiteknologialla. Sillä saavutettiin myös parempi ajettavuus ja parempi tuote. Tekniikka testattiin ensin kahden metrin koneella ja sen perusteella päädyttiin rakentamaan uusi tehdashalli Jumalniemen tehtaan yhteyteen. Sinne rakennettiin neljä metriä leveä huopakone vuonna 1985. (Karhulan teollistuminen, 2007.)

Vuonna 1991 yhtiön nimi muuttui Ahlstrom Glassfibre Oy:ksi. Koko 1990-luku oli huopakoneella kasvun aikaa. Vuonna 1999 neljän metrin huopakoneeseen investoitiin uusi väliliimausasema ja leijukuivain. Kesällä 2006 investoitiin vielä lisäkuivaimeen ja automaattisen rullanpakkauslaitteistoon. Näiden investointien myötä tuotantoa pystyttiin entisestään lisäämään. Huopakoneen tuotantonopeus on lähes kaksinkertaistunut 2000-luvulla. Vuonna 2007 valmistui toinen samanlainen kone Venäjälle. (Karhulan teollistuminen, 2007.)

Taloustaantumana aikana vuonna 2011 Ahlstrom Glassfibre joutui lopettamaan lasikuidun valmistuksen sekä lasikuitumaton valmistuksen Karhulassa. Ainoastaan lasihuopakoneen tuotanto jäi Karhulaan.

2.2 Lasihuopakone

Lasihuopaa valmistetaan rainausmenetelmällä kuten esimerkiksi paperia. Rainaus huopakoneella tehdään dispromenetelmällä. Rata muodostetaan lasikuidusta perälaatikossa viiran päälle ja siirretään viiran avulla liimausosalle liimausviiran päällä. Liiman levityksen jälkeen märkä rata menee kuivainosalle, joka muodostuu kolmesta erillisestä kuivaimesta. Kahden ensimmäisen kuivaimen sisällä kulkee happoteräslangasta valmistettu kudottu viira, jonka päällä tuote kuivatetaan. Ennen kolmatta kuivainta on kaksi erityyppistä väliliimausasemaa.

Ensimmäinen viirakuivain on kaikkein tehokkain, koska sillä poistetaan radanmuodostuksen mukana tuotteeseen jäänyt vesi sekä liimassa oleva vesi. Kuivain on myös pisin, jotta saadaan pidempi kuivausaika. Tällä on merkitystä liiman raaka-aineiden kypsymisen kannalta. Vasta kun liima on täysin kypsää, tuote saavuttaa ne ominaisuudet, joita asiakkaat haluavat.

Toinen viirakuivain tarvittiin, jotta saatiin lisää kypsytysaikaa tuotantonopeuden kasvassa.

Molemmat uunit toimivat samalla periaatteella. Ilmaa kierrätetään kiertoilmapuhaltimilla niin päin, että kuuma ilma tulee tuotteen yläpuolelle ja siirtää lämpöenergiaansa tuotteessa olevaan veteen. Vesi höyrystyy ja poistuu tuotteen ja metalliviiran läpi uunin alaosaan ilmavirran mukana. Poistopuhaltimella poistetaan paluuilma kosteutta ja se puhalletaan savupiipun kautta ulos. Loppu paluuilma palaa kiertoon. Kiertoilmaa lämmitetään haluttuun tuotekohtaiseen lämpötilaan maakaasupolttimilla. Polttimia on kahdessa ensimmäisessä uunissa yhteensä 7 kappaletta.

Kolmas kuivain on leijukuivain, jossa rata leijutetaan läpi kuivaimen puhaltamalla lämmintä ilmaa radan ylä- ja alapuolelle sopivassa suhteessa. Tällainen kuivain tarvitaan, että saadaan tuote kuivaksi ilman kosketusta kuivaimen rakenteisiin. Päällystysasemalla tuotteeseen tuleva sideaine on tahmeaa ja tarttuvasta.

Leijukuivain koostuu kiertoilmalaitteistosta, poltinlaitteistosta, poistoilmalaitteistosta, korvausilmalaitteistosta ja leijulaatikoista. Leijulaatikoita on kaksi jokaisessa lohossa, yksi radan yläpuolella ja yksi alapuolella. Lohkoja on yhteensä neljä. Jokaiselle lohkolle on oma maakaasupoltin.

Lohkossa yksi heti päällystysaseman jälkeen on suurin teho, jotta tuote saadaan pinta-kuivaksi eikä kosketus uunin rakenteisiin aiheuta ongelmia tuotteen laadun kanssa. Tästä syystä 1. lohossa on lisäksi oma poistopuhallin. Suurin osa kosteudesta pyritään poistamaan ensimmäisessä lohossa. Lohkot 2, 3 ja 4 toimivat niin, että jokaisella lohkolle on oma kiertoilmapuhallin ja poltin, mutta yhteinen poistopuhallin. Näillä kolmella lohkolle pyritään poistamaan loppu kosteus sekä kypsyttämään sideaine valmiiksi.

Kuivaimessa kiertoilma lämmitetään kiertokanavassa haluttuun lämpötilaan lisäämällä siihen lämpöenergiaa maakaasupolttimella. Kun kiertoilma tulee kosketuksiin leijulaatikossa kostean tuotteen kanssa, luovuttaa se lämpöenergiaa tuotteessa olevaan veteen. Vesi höyrystyy ympäröivään ilmaan. Jäähtynyt ja kostea ilma sekä höyry imetään kiertokanavaan, jossa höyry poistetaan poistoilmalaitteilla kiertoilman joukosta. Korvausilmalaitteilla tuodaan kuivempaa ilmaa tilalle, ennen kuin kiertoilma lämmitetään uudelleen.

3 LTO-LAITTEISTON TOIMINTAPERIAATE

3.1 Yleistä

Kuten jo aikaisemmin mainittiin, tarkoituksena on hyödyntää tehtaalla olevia laitteita toteutuksessa. Laitteiston suunnittelun lähtökohtana käytettiin leijun kakkospoiston tehoa sekä katolta löytyvää savukaasupesuria. Koska teho on melko suuri, sitä ei kannata käyttää ainoastaan paikallisesti esimerkiksi yhden tuloilmakojeen ilman esilämmittimenä. Teho pyritään jakamaan koko tehdashallin lämmitykseen.

Savukaasupesurissa on jo valmiiksi eristetty viemäri linja sekä tarvittavat vesiputket jäähdytysvesiä varten. Pesurin viemäri linjassa on automaattinen saattolämmitys estämässä viemäri linjan jäätymistä talviaikaan. Lisäksi tehtaan kellarissa on eristetty vesisäiliö, jota oli aikaisemmin käytetty yhden suljetun linjan kylmävalssausveden jäähdytykseen.

Säiliössä on valmiiksi uimuriventtiilillä varmistettu pinnansäätö, joka varmistaa korvausveden saannin. Säiliössä on jo myös lämpötilan mittausta, jota tullaan tarvitsemaan myös uudessa järjestelmässä. Lämmönsiirtoon löytyy muutamia erikokoisia levylämmönvaihtimia, joita on käytetty kompressorivesien jäähdytykseen. Säiliön ja pesurin välimatka on melko suuri koska pesuri on katolla ja säiliö kellarissa. Korkeuseroa on melko paljon ja tämä pitää huomioida pesuvesipumpun valinnassa.

Myös viemäriputken pituus saattaa aiheuttaa ongelmia lähinnä tukkeutumisen takia. Savukaasu on kuitenkin mittausten mukaan melko puhdasta, joten tätä ongelmaa ei välttämättä tule. Lisäksi pesuvesi linjaan asennetaan suodatin, joka estää lian kiertämisen järjestelmässä.

3.2 Savukaasupesuri

Savukaasupesuri kehitettiin alun perin puhdistamaan pienhiukkasia savukaasun joukosta. Varsin nopeasti kuitenkin huomattiin, että pesuria voidaan käyttää myös lämmön talteenottoon. Tänä päivänä teollisen mittakaavan pesuriin investoidaan lähes poikkeuksetta energiansäästön takia. Savukaasupesuri on varsin yksinkertainen rakenteeltaan ja siksi edullinen vaihtoehto savukaasujen puhdistukseen sekä lämmön talteenottoon. Pesurin toiminta perustuu siihen, että pesuriin suihkutetaan nestettä, joka

sitoo likapartikkelit itseensä ja valuu pesurin pohjalle. Kertynyt liete käsitellään sen koostumuksesta riippuen erilaisilla menetelmillä. Lämmöntalteenotto perustuu siihen, että myös lämpöenergia siirtyy tähän lietteeseen ja siitä se voidaan ottaa hyötykäyttöön. (Energiatehokaslämmitys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä. 2014.)

Tehtaalla oleva savukaasupesuri on Ekomans Oy:n valmistama pesuri mallia EMP-15-1. Malli on kaksiosainen. (kuva 1) Savukaasu menee ensin pyörresykloonan läpi, jossa raskaammat likapartikkelit putoavat sykloonan pohjalle. Sykloonan jälkeen on puhallin, jolla savukaasu puhalletaan varsinaiseen pesuriin. Kummassakin osassa savukaasua pestään tehdasvedellä, jota ruiskutetaan pisarasuuttimilla savukaasun sekaan. Lisäksi vettä tullaan mahdollisesti syöttämään jo tuloputkeen ennen pesuria.

Pesuvesi sitoo itseensä lämpöenergiaa savukaasusta ja savukaasu jäähtyy. Tavoitteena on jäähdyttää savukaasua niin paljon, että savukaasussa mukana oleva kosteus tiivistyy nesteeksi. Pesuvesi ja savukaasusta kertynyt kondenssivesi valuu viemäriinjan kautta pesuvesisäiliöön. Tulevan talven koeajojen perusteella pesuri mahdollisesti lämpöeristetään.



Kuva 1 Savukaasupesuri

3.3 Pesuvesisäiliö

Pesuvesisäiliö on noin 1,8 m³ kokoinen ja eristetty neopreenimatolla. Säiliössä on uimurilla toteutettu pinnansäätö. Uimuriventtiili kelluu veden pinnalla ja jos pinta laskee, uimuri laskeutuu mukana ja avaa samalla korvausvesiventtiilin. Säiliössä on lisäksi lämpötilan mittaus, jolla päästään seuraamaan savukaasun energian siirtymistä veteen. Vesisäiliöstä vesi pumpataan takaisin pesuriin suodattimen kautta. Suodatin kerää pesuveden joukosta pienhiukkaset pois ja estää lian kertymisen suuttimiin. Suodatin on itsepuhdistuva suodatin, joka rejektoi suodattimeen kertyneen lian pois kierrosta.

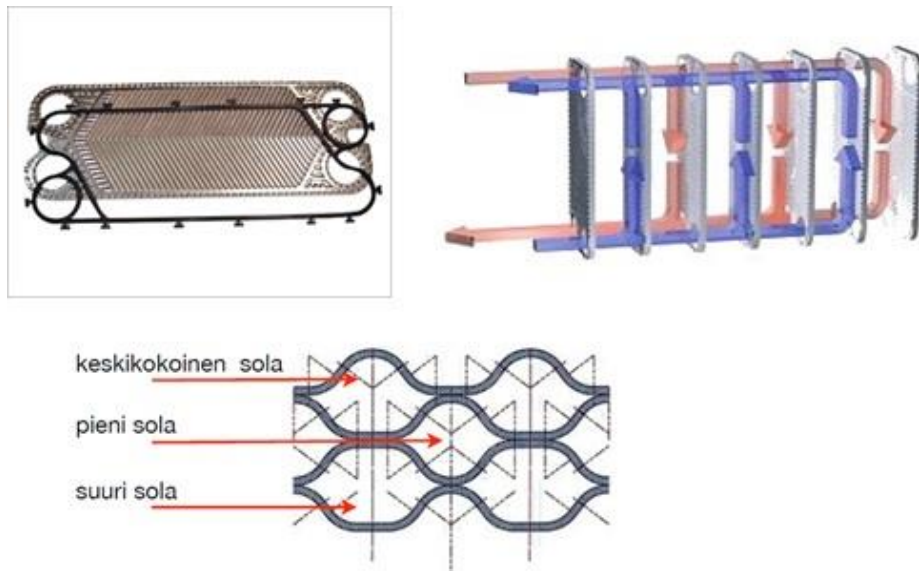
3.4 Pumppu

Pumppuna käytetään linjassa jo valmiiksi olevaa teollisuuspumppua. Pumpun malli on Kolmeksin teollisuuspumppu 7,5 kW moottorilla. Pumpun tuotto ja nostokorkeus riittävät hyvin tarvittavan pesuvesimäärän pumppaamiseen pesurille.

3.5 Lämmönsiirrin

Levylämmönsiirrin on rakenteeltaan melko yksinkertainen ja siksi melko edullinen tapa siirtää lämpöä. Sillä voidaan yhtä tehokkaasti sekä lämmittää että jäähdyttää nesteitä. Levylämmönsiirtimessä on profiloituja levyjä laitettu pinoon niin, että neste pääsee kulkemaan levyjen välissä. (kuva 2.)

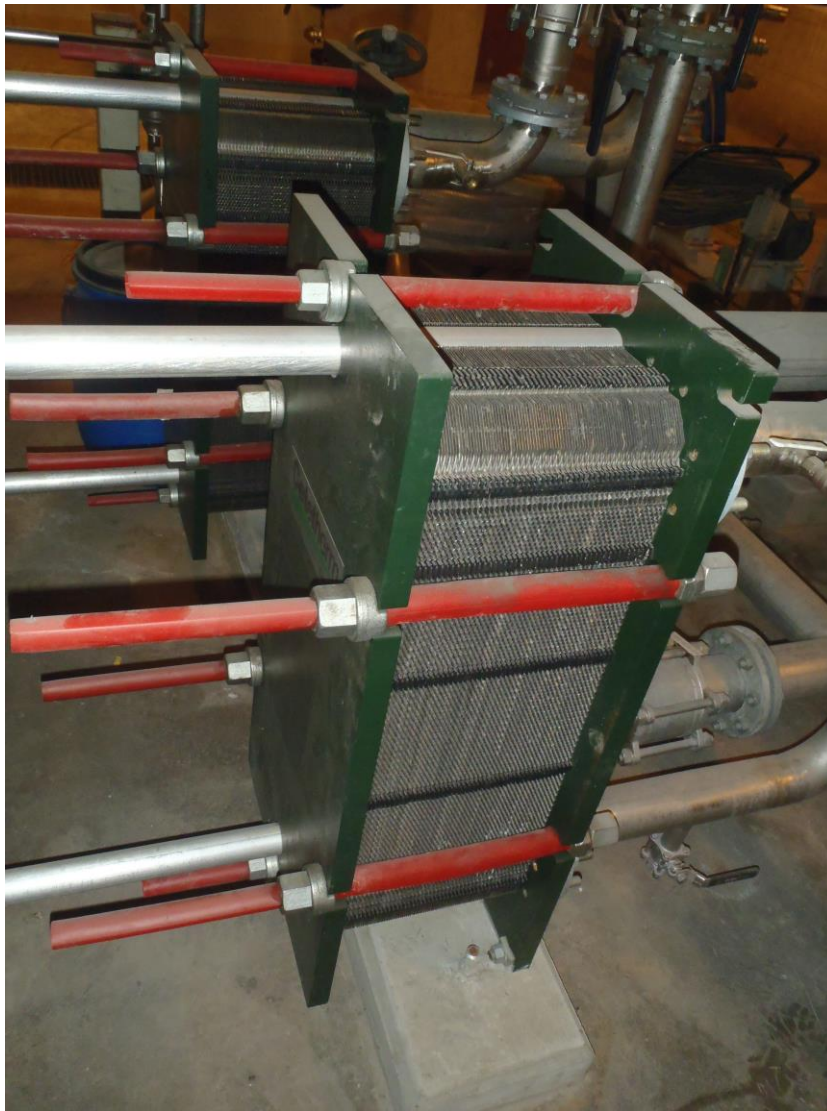
Levyjen välissä virtaa neste niin, että joka toisessa välissä virtaa kylmä ja joka toisessa lämmin neste. Kylmä ja lämmin neste virtaavat vastakkaisiin suuntiin, Lämpöenergia siirtyy kuumasta kylmään. Levyjä valmistetaan eri materiaaleista ja erilaisilla profiileilla riippuen käyttötarkoituksesta ja nesteen ominaisuuksista. Levyjen pinta-ala ja määrä vaikuttaa lämmönsiirtimen tehoon. Suurempi pinta-ala siirtää luonnollisesti enemmän lämpöä. Levyn profiililla voidaan myös vaikuttaa tehoon. Korkeampi profiili siirtää huonommin lämpöä, mutta samalla pienentää virtausvastusta. Levylämmönsiirrin toimii parhaiten suurella virtausnopeudella, jolloin virtaus pysyy turbulenttisena ja uutta lämpöenergiaa tulee riittävästi vaihtimeen.



Kuva 2 Levylämmönsiirtimen rakenne (Alfa Laval LVI-kansio, s.78)

Tähän laitteistoon lämmönsiirtimeksi valittiin tehtaalta löytyvä Alfa Lavalin valmista levylämmönsiirrin mallia Cetetherm CT160-MP/101. (kuva 3) Lämmönsiirrin on tarkoitettu veden jäähdytykseen mutta rakenteeltaan se on samantyyppinen kuin vastaavat lämmitykseen tarkoitetut mallit. Ainoastaan ulkopuolinen eristys puuttuu, mutta tässä tapauksessa lämpöhukka ei haittaa, koska laitteisto sijaitsee kellarissa melko kylmässä osassa.

Valitussa lämmönsiirtimessä on melko reilusti lämmönsiirtolevyjä ja koeajojen jälkeen levyjä voidaan tarvittaessa vähentää. Tällä pyritään pitämään virtaus turbulenttina ja parantamaan näin siirtimen tehoa.



Kuva 3 Levylämmösiirrin

3.6 Sähkö ja automaatio

Lämmöntalteenoton toiminnan takaamiseksi pitää pesuveden virtaus varmistaa joko painemittauksilla tai mieluiten virtausmittauksella. Virtausmittauksesta suhteessa pumpun kierroksiin voidaan myös havaita pesuvesisuuttimien tai suodattimen tukkeutuminen. Paluuvirtaus toimii hydrostaattisesti. Pesuvesisäiliön pintaa ei mitata, mutta pinta pidetään vakiona uimuriventtiilin avulla.

Pesuvesipumpun kierroksia säädetään virtauksen perusteella taajuusmuuntajalla. Veden ylikuumenemisen takia säiliön lämpötilan mittauksen seuranta tarvitaan. Järjestelmä voidaan varustaa sellaisella turvajärjestelyllä, että pesuvesipumppu pysähtyy, kun veden lämpötila nousee yli 90 asteen ja käynnistyy taas, kun lämpötila menee alle

60 asteen. Tämä on helposti toteutettavissa, kun järjestelmä liitetään tehtaan automaatiojärjestelmään.

Laitteiston tehokkuuden seurannan kannalta tarvitaan lämpötilamittauksia savukaasukanavaan ennen pesuria ja pesurin jälkeen ulospuhallusaukkoon. Lisäksi vesien lämpötilaa pitää seurata vesisäiliössä, ennen ja jälkeen lämmönsiirtimen sekä kylmällä että kuumalla puolella. Kaikki mittaustiedot ja käyntitiedot täytyy liittää tehdasjärjestelmään, jolloin LTO-järjestelmän toimintaa voidaan valvoa ja hälytyksiin reagoida. Lisäksi saadaan mittaustiedot keruuseen ja niitä voidaan jälkikäteen analysoida.

4 LASKELMAT

4.1 Savukaasuista saatava energia

Savukaasun lämpötila on 195,9 °C leijun 2. poistopuhaltimen jälkeen. Pesurissa pyritään jäähdyttämään savukaasu lämpötilaan 80 °C. Lasketaan savukaasun teho. Lähtöarvot on saatu Kyamkin tekemästä päästömittausraportista elokuussa 2013. (liite 1.)

Savukaasun lämpötila $T_{sk} = 195,9 \text{ °C} = 468,9 \text{ K}$

Savukaasun tilavuusvirta (kostea) $v_{sk} = 3,9 \text{ m}^3/\text{s}$

Taulukko 1 Savukaasujen ominaisuudet (liite 1.)

	Kuivat osuudet [%]	Kosteat osuudet [%]	Moolimassa M [kg/kmol]	massa [g]	massaosuus [m %]
CO ₂	0,7	0,7	44	29,48	1,037
O ₂	19,5	18,7	32	597,17	21,01
N ₂	79,8	76,4	28	2138,32	75,23
H ₂ O	0	4,3	18	77,40	2,723
Yhteensä	100	100		2842,36	100

Savukaasun kaasuvakio

$$R_{sk} = m\%_{CO_2} \cdot R_{CO_2} + m\%_{H_2O} \cdot R_{H_2O} + m\%_{O_2} \cdot R_{O_2} + m\%_{N_2} \cdot R_{N_2} \quad (1.)$$

jossa

$$R_{CO_2} = \frac{R}{M_{CO_2}} = \frac{8,3145 \frac{J}{molK}}{0,044 \frac{kg}{mol}} = 188,97 \frac{J}{kgK}$$

$$R_{H_2O} = \frac{R}{M_{H_2O}} = \frac{8,3145 \frac{J}{molK}}{0,018 \frac{kg}{mol}} = 461,9 \frac{J}{kgK}$$

$$R_{O_2} = \frac{R}{M_{O_2}} = \frac{8,3145 \frac{J}{molK}}{0,032 \frac{kg}{mol}} = 259,8 \frac{J}{kgK}$$

$$R_{N_2} = \frac{R}{M_{N_2}} = \frac{8,3145 \frac{J}{molK}}{0,028 \frac{kg}{mol}} = 297,0 \frac{J}{kgK}$$

Sijoitetaan kaavaan 1.

$$R_{sk} = 0,01037 \cdot 188,97 \frac{J}{kgK} + 0,02723 \cdot 461,9 \frac{J}{kgK} + \\ 0,2101 \cdot 259,8 \frac{J}{kgK} + 0,7523 \cdot 297,0 \frac{J}{kgK} = 292,55 \frac{J}{kgK}$$

Savukaasun tiheys

$$\rho_{sk} = \frac{p}{R_{sk} \cdot T_{sk}} \quad (2.)$$

jossa

$$p = 101300 Pa$$

$$R_{sk} = 292,55 \frac{J}{kgK}$$

$$T_{sk} = 468,9K$$

Sijoitetaan kaavaan 2.

$$\rho_{sk} = \frac{101300 \text{ Pa}}{292,55 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 468,9 \text{ K}} = 0,738 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Savukaasun massavirta

$$m_{sk} = v_{sk} \cdot \rho_{sk} \quad (3.)$$

jossa

$$v_{sk} = 3,9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\rho_{sk} = 0,738 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Sijoitetaan kaavaan 3.

$$m_{sk} = 3,9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 0,720 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2,808 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Savukaasun ominaislämpökapasiteetti c_p

$$c_{p_{sk}} = m\%_{CO_2} \cdot c_{p_{CO_2}} + m\%_{H_2O} \cdot c_{p_{H_2O}} + m\%_{O_2} \cdot c_{p_{O_2}} + m\%_{N_2} \cdot c_{p_{N_2}} \quad (4.)$$

jossa

$$c_{p_{H_2O}} = 2,03 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \quad \text{vesihöyry normaali ilmanpaineessa}$$

$$c_{p_{CO_2}} = 0,917 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \quad \text{savukaasun lämpötilassa } 200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c_{p_{O_2}} = 0,934 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \quad \text{savukaasun lämpötilassa } 200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c_{p_{N_2}} = 1,047 \frac{kJ}{kgK} \quad \text{savukaasun lämpötilassa } 200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sijoitetaan kaavaan 4.

$$c_{p_{sk}} = 0,01037 \cdot 0,917 \frac{kJ}{kgK} + 0,02723 \cdot 2,03 \frac{kJ}{kgK} + \\ 0,2101 \cdot 0,934 \frac{kJ}{kgK} + 0,7523 \cdot 1,047 \frac{kJ}{kgK} = \mathbf{1,049 \frac{kJ}{kgK}}$$

Savukaasun teho

$$\Phi_{sk} = m_{sk} \cdot c_{p_{sk}} \cdot \Delta T \quad (5.)$$

jossa

$$m_{sk} = 2,808 \frac{kg}{s}$$

$$c_{p_{sk}} = 1,049 \frac{kJ}{kgK}$$

$$\Delta T = (195,9 - 80)^\circ\text{C} = 115,9^\circ\text{C}$$

Sijoitetaan kaavaan 5.

$$\Phi_{sk} = 2,808 \frac{kg}{s} \cdot 1,049 \frac{kJ}{kgK} \cdot (195,9 - 80) = \mathbf{341 \text{ kW}}$$

Savukaasupesurin jäähdytysveden määrä

Savukaasupesuriin syötetään jäähdytysvettä, johon lämpöenergia halutaan siirtää. Mitoitusarvoina käytetään pesurilta palaavaan veden lämpötilaa. Sen tulisi olla 80 °C. Vesisäiliöstä pumpattavan jäähdytysveden lämpötilana käytetään 60 °C. Veden tulisi siis lämmitä pesurissa 20 °C (ΔT). Veden C_p 4,2 kJ/kgK

Pesuvien massavirta

$$m_{vesi} = \frac{\Phi_{sk}}{c_{p_{H_2O}} \cdot \Delta T_{vesi}} \quad (6.)$$

jossa

$$c_{p_{vesi}} = 4,2 \frac{kJ}{kgK}$$

$$\Phi_{sk} = 341 kW$$

$$\Delta T_{vesi} = (80 - 60)^\circ C = 20^\circ C$$

Sijoitetaan kaavaan 6.

$$m_{vesi} = \frac{341 kW}{4,2 \frac{kJ}{kgK} \cdot (80 - 60)^\circ C} = 4,06 \frac{kg}{s}$$

Pumpun mitoitus varten lasketaan vielä pumpun tuottotarve m³/h

$$m_{vesi} = 4,06 \frac{kg}{s} \cdot 3600s \div 1000 = 14,6 \frac{m^3}{h}$$

Tehdashallin tuloilmakoneiden lämpöpatterien yhteisteho noin 2 MW. Kiertoveden määrä noin 32 kg/s (ulkolämpötila -20 °C) ja patterivesien lämpötilat: menovesi 60 °C, paluuvesi 45 °C. Lämmöntalteenoton energia halutaan siirtää kiertoveden paluulinjaan. Levylämmönsiirtimellä pystytään siirtämään lähes koko talteen otettu määrä patteriverkkoon. Oletetaan, että pesuveden häviö on sama kuin savukaasun joukossa oleva lauhdutettu kosteus, jolloin vettä palaa säiliöön yhtä paljon kuin pesuriin pumpataan. Kiertoveden määrä riippuu lämmityksen tarpeesta. Tuloilmakoneisiin on asetettu huoneenlämpötavoite ja koneet säättävät kiertoveden virtausta säätöventtiilillä sen mukaan, kuinka paljon lämmitystä tarvitaan. Ilmanvirtaus laitteissa on vakio. Paluueden lämpötilan nousu lämmönsiirtimessä (ulkolämpötila -20 °C)

$$\Delta T = \frac{\Phi_{sk}}{m_{kiertovesi} \cdot c_{p_{vesi}}} \quad (7.)$$

jossa

$$\Phi_{sk} = 341 \text{ kW}$$

$$m_{kiertovesi} = 32 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$c_{p_{vesi}} = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

sijoitetaan kaavaan 8.

$$\Delta T = \frac{341 \text{ kW}}{32 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}} = 2,54 \text{ °C}$$

4.2 Lämmönsiirtimen mitoitus

Ratkaistaan levylämmönsiirtimen lämmönvaihtopinta-ala tehon perusteella, lasketaan ensin LMTD, joka on logaritminen keskilämpötilojen ero. LMTD antaa hieman pienemmän arvon kuin aritmeettinen keskilämpötilojen ero. Tämä varmistaa levylämmönsiirtimen mitoituksessa sen, että lämmönsiirtopinta-ala varmasti riittää. Mitä suurempi arvo, sen enemmän lämpöä siirtyy lämmönsiirtimessä.

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (8.)$$

jossa

$$T_1 = \text{lämpimän veden tulo lt.} = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \text{lämpimän veden lähtö lt.} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_3 = \text{kylmän veden tulo lt.} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_4 = \text{kylmän veden lähtö lt.} = 42,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_1 = T_1 - T_4 = 80 - 42,5 = 37,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_2 - T_3 = 60 - 40 = 20^\circ\text{C}$$

sijoitetaan kaavaan 9.

$$LMTD = \frac{37,5^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{37,5^\circ\text{C}}{20^\circ\text{C}}\right)} = \mathbf{27,8^\circ\text{C}}$$

Lasketaan tarvittava levyn pinta-ala

$$A = \frac{\Phi_{sk}}{k \cdot LMTD} \quad (9.)$$

jossa

$$\Phi_{sk} = 341 \text{ kW}$$

lämmönsiirtokerroin **k** Alfa Lavalin LVI- tuotekansioista levylämmönsiirtimelle (Alfa Laval, LVI-kansio, 81)

$$k = 8000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

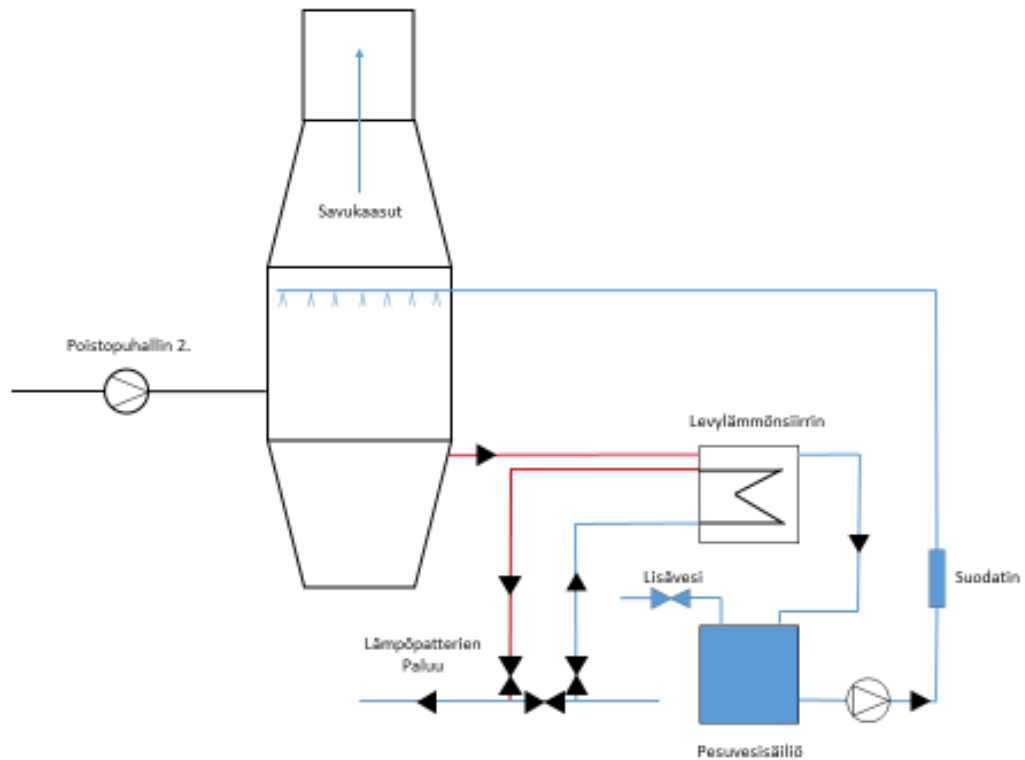
$$LMTD = 27,8^\circ C$$

sijoitetaan kaavaan 10.

$$A = \frac{341000 \text{ W}}{8000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 27,8^\circ C} = 1,53 \text{ m}^3$$

Putkiston mitoitus

Pesuvesiputken mitoitusta ei lasketa, koska putki on jo vedetty valmiiksi. Putkikoko on DN50. Putkikoko riittää halutulle pesuvesimäärälle reilusti. Samoin paluulinja on jo vedetty pesurilta vesisäiliölle ja on valmiiksi eristettynä. Paluulinja katkaistaan ennen vesisäiliötä ja liitetään suoraan levylämmönsiirtimen lämpimän veden tuloyhteyteen. Lämpimän veden lähtö vedetään siirtimeltä vesisäiliöön saman kokoisella putkella kuin paluulinjakin. Levylämmönsiirrin sijoitetaan niin ylös, että vesi poistuu lämmönsiirtimestä omalla painollaan pesuvesisäiliöön. Pattereiden kiertoveden paluulinja muutetaan kulkemaan lämmönsiirtimen kylmän puolen kautta. Jätetään kuitenkin ohitusventtiili huoltoja varten. Putkikoko pidetään samana.



Kuva 4. Lämmöntalteenottojärjestelmä

5 PROJEKTIN KANNATTAVUUS

5.1 Kaukolämmön säästöpotentiali

Kaukolämmön toteutunut kulutus lämmityskaudella 2013–2014. Lämmin käyttövesi kuluttaa n. 9 MWh/kk. Käyttöveden lämmityksellä on omat järjestelmänsä, joten säästö ei vaikuta siihen.

Taulukko 2 Kaukolämmön kulutus

	päiviä	kokonaiskulutus (MWh)	kulutus/päivä (MWh)
lokakuu	31	248	7,71
marraskuu	30	266	8,57
joulukuu	31	303	9,48
tammikuu	31	550	17,45
helmikuu	28	290	10,04
maaliskuu	31	215	6,65
huhtikuu	30	150	4,7

Lämmöntalteenottojärjestelmän päivätuotto on 8,18 MWh. Sellaisina kuukausina, jolloin keskikulutus on ollut enemmän kuin LTO:n tuotto, on säästöksi arvioitu koko LTO:n tuotto. Kun keskikulutus on ollut alle LTO:n tuoton, säästöksi on arvioitu toteutunut kaukolämmön kulutus. (taulukko 2 ja taulukko 3)

Taulukko 3 Kaukolämmön säästö

	päiviä	LTO maks. säästö/päivä(MWh)	säästö/kuukausi (MWh)
lokakuu	31	7,71	239
marraskuu	30	8,18	246
joulukuu	31	8,18	254
tammikuu	31	8,18	254
helmikuu	28	8,18	290
maaliskuu	31	6,65	215
huhtikuu	30	4,70	141
yhteensä			1568

Kaukolämmön hinta on 49,80 €/MWh (alv 0 %). Säästöksi muodostuu 78 090 €. Tästä vähennetään vielä lämmitysjakson seisakit, joihin kuuluu itsenäisyyspäivä, joulukuu sekä huoltoseisakit noin kuuden viikon välein. Yhteensä 10 % kokonaisajasta. Lopullinen säästö 70 281 € (www.kotkanenergia.fi).

Investoinnin takaisinmaksuaika

Investointikustannukset jäävät tässä projektissa melko alhaisiksi, koska yhtään laitetta ei tarvitse ostaa. Osa laitteistosta on jo valmiiksi asennettu aikaisempaa muuta käyttöä varten. Ainoa isompi työ on lämmönsiirtimen asennus ja sen vaatimat putkistomuutokset sekä mahdollinen savukaasupesurin eristäminen katolla. Myös instrumentointia tarvitaan jonkin verran. Kunnossapitopäällikkö Janne Auvisen arvio investoinnin kokonaiskustannuksista on luokkaa 20 000 €.

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{20000\text{€}}{70281 \frac{\text{€}}{v}} = 0,28v \sim 100 \text{ päivää}$$

Energiainvestointien tuet

Tämän tyyppiselle investoinnille olisi ollut mahdollista hakea Työ- ja elinkeinoministeriön myöntämää energiatukea. Tuki olisi kuitenkin pitänyt hakea ennen projektin aloitusta. Tuen myöntämistä helpottaa suoritettu energiakatselmus tai –analyysi. Tätä katselmusta tai analyysia voidaan käyttää investoinnin hakemuksen selvitysosana, koska siitä selviää mahdolliset energiansäästömahdollisuudet investoinnin osalta. Investoinnin kokonaiskustannus on oltava yli 10 000€ (Energiakatselmuksille ja energiatehokkuusinvestoinneille tukea. 2014).

Tukea myönnetään maksimissaan 40 % mutta tyyppillinen tuen suuruus on 25 - 35 %. Uudelle teknologialle tuki on suurempi kuin tavanomaiselle. Tällä tuella halutaan kannustaa yrityksiä käyttämään uutta energiatehokkaampaa tekniikkaa. Uuden teknologian tukea voivat hakea kaikki yritykset, mutta tavanomaisen teknologian tukea varten yrityksen on kuuluttava energiatehokkuussopimuksen piiriin. Uudella teknologialla tarkoitetaan ainakin uusiutuvien energialähteiden hyödyntämistä uusiutumattomien tilalle (Energiakatselmuksille ja energiatehokkuusinvestoinneille tukea. 2014).

Tukea haetaan paikalliselta ELY-toimistolta alle 5 miljoonan euron hankkeissa ja sitä suuremmat haetaan TEM:n energiaosastolta (Energiakatselmuksille ja energiatehokkuusinvestoinneille tukea. 2014).

5.2 Muita energiansäästömahdollisuuksia

Tässä työssä käsiteltiin ainoastaan yhden kuivausuunin poiston hyödyntäminen energiansäästössä. Suurin piirtein saman tehoisia savukaasun poistoja on kaikkiaan viisi. Jokainen niistä olisi mahdollista hyödyntää energiansäästössä. Tehdasrakennuksen lämmitykseen voisi vielä liittää toisen vastaavan tässä työssä esitellyn talteenottojärjestelmän. Silloin talteenottoenergia riittäisi kovimmillakin pakkasilla. Tämän projektin lämmönsiirtolaitteisto on reilusti ylimitoitettu, joten se pystyisi helposti siirtämään myös toisen savukaasukanavan lämpöenergian tehtaan lämmitysjärjestelmään.

Talteenottoenergiaa voisi käyttää prosessiin tarvittavien vesien lämmityksen, jolloin höyryä tarvittaisiin vähemmän.

Höyry tehdään tällä hetkellä maakaasulla. Myös höyryn valmistukseen käytettävä vesi voitaisiin esilämmittää, jolloin höyryn tuottamiseen tarvittaisiin vähemmän energiaa.

Hallin ilmatasapaino vaatisi myös perusteellisen selvityksen. Hallissa vallitsee tällä hetkellä valtava alipaine ja lämmityskauden aikana tämä aiheuttaa tietenkin sen, että halli imee ulkoa kylmää ilmaa. Kuivausuunit ja alipainepuhaltimet poistavat hallista paljon enemmän ilmaa kuin ilmanvaihtokoneet ehtivät tuottamaan lämmintä korvaus-ilmaa.

Tehtaalla tehdään vielä tämän vuoden aikana energia-analyysi. Tämä voi paljastaa vielä uusia mahdollisuuksia tehostaa energiankulutusta.

6 YHTEENVETO

Tämän projekti havainnollisti hienosti, kuinka yksinkertaisilla laitteilla voidaan säästää merkittävää säästöä energiankulutuksessa. Tämän LTO-laitteiston kaikki komponentit löytyivät tehtaalta ja kokonaiskustannus jäi todella alhaiseksi. LTO-laitteisto olisi kannattanut toteuttaa myös uusilla tätä varten hankituilla komponenteilla. Takaisinmaksuaika olisi silti jäänyt melko lyhyeksi.

Lopullinen laitteiston hyöty saadaan selville vasta laitteiston asennusten ja koeajon jälkeen. Asennukset valmistunevat lopullisesti kesän 2014 aikana ja syksyllä päästään testaamaan ja säätämään laitteistoa optimiarvoihin.

Työ osoitti myös käytännön tasolla, miten hyvin koulussa opittua teoriaa ja käytännön prosessiosaamista voi hyödyntää yhdessä.

Tämän työn onnistumiseen vaikutti erittäin paljon kunnossapitopäällikkö Janne Auvisen aktiivisuus energiansäästöasioissa tehtaalla.

LÄHTEET

Alfa Laval LVI-tuotekansio, 2011, sivut 76–82, saatavissa: <http://ecbook.ecweb.se/alfalaval/LVI-tuotekansio/>, [viitattu 9.5.2014]

Energiatehokaslämmitys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä. 2014. Motiva. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/7812/Energiatehokas_Lammitys_LTO_KOULUTUSAI-NEISTO.pdf, [viitattu 9.5.2014]

Energiakatselmuksille ja energiatehokkuusinvestoinneille tukea. 2014. Motiva. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/8699/Energiatuki_2014.pdf [viitattu 14.5.2014]

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P., Pakkanen, H., 2004, Höyrykattilatekniikka. 6. muuttumaton painos. Opetushallitus.

Kaukolämpöhinnasto 1.1.2014 alkaen. 2014. Kotkan Energia. Saatavissa: http://www.kotkanenergia.fi/sites/default/files/kaukolampohinnasto_2014.pdf [viitattu 16.5.2014]

Oksanen H., 2007. Karhulan teollistuminen. Töölöstä Oy/Mediacenter Oy. Saatavissa: <http://www.karhulanteollistuminen.fi/>, 1970–2007, Lasikuitutehdas [viitattu 9.5.2014]

Urpalainen, S., Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T., 2008. Voimalaitostekniikka. Opetushallitus.

LIITTEET

Liite 1 Päästömittausraportti

Ahlstrom Glassfibre Oy
PL 18
48601 KARHULA

Päästömittausraportti
28.8.2013
2513A

Sivu 1/7



PÄÄSTÖMITTAUS
AHLSTROM GLASSFIBRE OY
28.8.2013
HUOPAKONE

Kotkassa 2.9.2013

Raportin tarkastaja Ins. Mikko Nykänen

Raportin laatija tekn. Marko Piispa

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu
University of Applied Sciences
Energy Laboratory
Emission Measurements

Address: P.O.Box 9, FI-48401 Kotka, Finland
Tel: 044-702 8111
Fax: 05-220 8209

E-mail: firstname.lastname@kyamk.fi

1. MITTAUSKOhteet	3
2. MITTAUKSIEN TARKOITUS	3
3. MITTAUSTULOKSET	3
3.1 HUOPAKONEEN MITTAUSTULOKSET	3
4. MITTAUSAIKA JA -OHJELMA	5
5. MITTAUKSIEN SUORITTAJAT	5
6. TIEDONKERÄYS JA MITTAUKSISSA KÄYTETTY LAITTEET	5
7. PROSESSITIEDOT	5
8. MITTAUSTULOsten LASKENTA	5
8.1 SAVUKAASUVIRTA	6
9. MITTAUSTULOsten TARKASTELU	6
9.1 MITTAUKSIEN AIKANA ESIINTYNEITÄ ONGELMIA	6
9.2 MITTAUSEPÄVARMUUS	6
10. MITTAUSOLOSUHTEET	7
11. MITTAUSMENETELMÄT	7
12. MITTAUKSISSA KÄYTETTY LAITTEET	7

1. MITTAUSKOhteET

Päästömittausten kohteena oli Ahlstrom Glassfibre Oy:n huopakone.

Huopakoneen mittausyhteet 1, 2, 3, 4, 5 ja 6 sijaitsivat huopakoneen yläpuolella katolla.

2. MITTAUKSIEN TARKOITUS

Mittausten tarkoituksena oli selvittää huopakoneen poistokaasujen päästöt, lämpötila ja kosteus.

Tämän vuoksi mitattiin ulostulevien poistokaasujen:

- Hiilimonoksidipitoisuus (CO)
- Typpioksidipitoisuus (NO_x)
- Hiilivetyjen pitoisuus (TOC)
- Kiintoainepitoisuus
- Happipitoisuus (O₂)
- Hiilidioksidipitoisuus (CO₂)

3. MITTAUSTULOKSET

Seuraavissa taulukoissa on esitetty yhteenveto mittauksista 28.8.2013.

3.1 HUOPAKONEEN MITTAUSTULOKSET

Taulukko 1. Hapen ja hiilidioksidin keskimääräiset mittaukselliset tulokset huopakoneelta

Kohde	Kanavan l _t °C	O ₂ %	O ₂ %	CO ₂ %	CO ₂ %
			Epävarmuus		Epävarmuus
Poisto 1	109,0	17,7	± 0,2 %	1,7	± 0,2 %
Poisto 2	147,5	17,1	± 0,2 %	2,0	± 0,2 %
Kuivain 2	145,0	17,9	± 0,2 %	1,5	± 0,2 %
Leiju 1	155,9	19,9	± 0,2 %	0,4	± 0,2 %
Leiju 2	195,9	19,5	± 0,2 %	0,7	± 0,2 %
Käryn poisto	81,8	20,7	± 0,2 %	0,1	± 0,2 %

Taulukko 2. Hiilimonoksidin keskimääräiset mittaustulokset huopakoneelta

Kohde	CO ppm	CO mg/m ³ (n)		CO mg/m ³ (n) Redusoitu O ₂ =8%	
			Epävarmuus		Epävarmuus
	kuiva				
Poisto 1	8	10	± 15%	40	± 15%
Poisto 2	221	276	± 15%	938	± 15%
Kuivain 2	13	16	± 15%	70	± 15%
Leiju 1	3	4	± 15%	48	± 15%
Leiju 2	6	8	± 15%	69	± 15%
Käryn poisto	2	3	± 15%	161	± 15%

Taulukko 3. Typen oksidien keskimääräiset mittaustulokset huopakoneelta

Kohde	NO _x ppm	NO _x mg/m ³ (n)		NO _x mg/m ³ (n) Redusoitu O ₂ =8%	
			Epävarmuus		Epävarmuus
	kuiva				
Poisto 1	13	27	± 15%	108	± 15%
Poisto 2	7	14	± 15%	49	± 15%
Kuivain 2	7	14	± 15%	62	± 15%
Leiju 1	2	4	± 15%	53	± 15%
Leiju 2	0	0	± 15%	0	± 15%
Käryn poisto	0	0	± 15%	0	± 15%

Taulukko 4. Hiilivetyjen keskimääräiset mittaustulokset huopakoneelta, tulokset on las-kettu hiilenä

Kohde	TOC ppm	TOC mg/m ³ (n)		TOC mg/m ³ (n) Redusoitu O ₂ =8%	
			Epävarmuus		Epävarmuus
	kuiva				
Poisto 1	60	32	± 15%	130	± 15%
Poisto 2	380	204	± 15%	691	± 15%
Kuivain 2	54	29	± 15%	124	± 15%
Leiju 1	27	14	± 15%	187	± 15%
Leiju 2	13	7	± 15%	64	± 15%
Käryn poisto	10	5	± 15%	346	± 15%

Taulukko 5. Kiintoaineiden mittaustulokset huopakoneelta

Kohde	Kiintoaine mg/m ³ (n)		Kiintoaine mg/m ³ (n) RedusoituO ₂ =8%	
		Epävarmuus		Epävarmuus
Poisto 1	7	± 18%	30	± 18%
Poisto 2	7	± 18%	23	± 18%
Kuivain 2	8	± 18%	14	± 18%
Leiju 1	4	± 18%	54	± 18%
Leiju 2	3	± 18%	31	± 18%
Käryn poisto	3	± 18%	163	± 18%

4. MITTAUSAIKA JA -OHJELMA

Mittaukset suoritettiin seuraavan aikataulun mukaisesti:

28.8.2013	klo 10:00 – 12:00	Mittauslaitteiden asennus ja kalibrointi
	klo 12:00 – 19:30	Mittaukset
	klo 19:30 –	Kalibrointien tarkastus

5. MITTAUKSIEN SUORITTAJAT

Mittaukset suorittivat Kymenlaakson ammattikorkeakoulusta ins. Mikko Nykänen ja tekn. Marko Piispa. Glassfibre Oy:n yhteyshenkilö oli Minna Peltola.

6. TIEDONKERÄYS JA MITTAUKSISSA KÄYTETYT LAITTEET

Mittaustulokset talletettiin mittauksen aikana dataloggerille 60 sekunnin välein ja lisäksi mittarien näyttämät kirjattiin ylös mittauskaavakkeille 10 min välein.

7. PROSESSITIEDOT

Tuote oli mittausten aikana GFT93-G10-35 (Vaihto 17:52 AW96-G010-40)

8. MITTAUSTULOSTEN LASKENTA

Kaikki mittaustulosten pohjalta tehdyt laskut on suoritettu excel-ohjelmalla. Edellä on esitetty eriteltyinä tärkeimmät mittaustulokset ja niistä lasketut tulokset.

Mittaustulokset pätevät ainoastaan mitatuille näytteille.

Selosteen saa kopioida vain kokonaan. Muussa tapauksessa kopioinnista on saatava kirjallinen lupa testauslaboratoriolta.

8.1 SAVUKAASUVIRTA

Kaasuvirtamittaus suoritettiin kiintoainemittausten yhteydessä. Kaasun keskimääräinen dynaaminen paine, mitattu nopeus sekä savukaasuvirta ilmenevät seuraavasta taulukosta.

Taulukko 6. Poistokaasun kosteus mittaustulokset huopakoneelta

Kohde	Poistokaasun lämpötila °C	Poistokaasun kosteus %	Poistokaasun keskimääräinen nopeus m/s	Poistokaasuvirtaus (kuiva) m ³ (n)/s	Poistokaasuvirtaus (kosteaa) m ³ /s
Poisto 1	109,0	11,2	16,5	3,7	5,1
Poisto 2	147,5	9,2	11,1	2,2	3,4
Kuivain 2	145,0	4,3	5,5	0,9	1,3
Leiju 1	155,9	4,4	17,8	4,4	6,8
Leiju 2	195,9	4,3	13,1	2,3	3,9
Käryn poisto	81,8	4,3	17,1	1,1	1,4

9. MITTAUSTULOSTEN TARKASTELU

Mittauksia voidaan pitää onnistuneena

9.1 MITTAUKSIEN AIKANA ESIINTYNEITÄ ONGELMIA

Mittauskohteissa ei esiintynyt mitään tuloksiin vaikuttavia ongelmia.

9.2 MITTAUSEPÄVARMUUS

Mittauksen kokonaisepävarmuus lasketaan tarkoitukseen laadituilla ja validoituilla Excel-työkirjoilla. Virhetarkastelu suoritetaan todennäköisyyslaskentaan perustuen. Päästöjen laskennassa käytettävät kaavat on linearisoitu, jotta virheet, jotka oletetaan riippumattomiksi satunnaismuuttujiksi, voidaan yhdistää. Kaikki käytettävät virheet edustavat 95 %:n luottamusväliä.

Mittausepävarmuuden laskennassa on huomioitu

- näytteenoton virhe (näytteen edustavuus)
- kalibrointikaasujen epätarkkuus
- analysaattorien epätarkkuus
- savukaasun kosteuden määrittelyn epävarmuus
- savukaasun tiheyden määrittelyn epävarmuus

Näiden tekijöiden virheet määritetään laskentaa varten jokaiselle mittaukselle ja syötetään laskenta-arkille. Epävarmuudet perustuvat yli kymmenen vuoden aikana mittauksissa kertyneeseen kokemukseen (sisältää laboratorioiden väliset vertailumittaukset). Epävarmuutta ei määritetä yhdessä mittauksessa olevien arvojen vaihtelun perusteella.

10. MITTAUSOLOSUHTEET

Huopakone
Paine: 101.3 kPa
Lämpötila: 22.0 °C
Kosteus: 60.0 %

11. MITTAUSMENETELMÄT

Jatkuvatoimisissa mittauksissa käytettiin seuraavia menetelmiä ja standardeja:

Komponentti	Menetelmä	Standardi
Kiintoaine	Gravimetrinen	laimentamaton SFS-EN 13284*
NO _x	Kemiluminesenssi	laimentamaton SFS 5624
CO	IR-absorptio	laimentamaton SFS 5624
CO ₂	IR-absorptio	laimentamaton SFS 5624
O ₂	Paramagneettinen	laimentamaton SFS 5624
TOC	FID	laimentamaton SFS 5624*

*ei ole tehty akkreditoidusti

12. MITTAUKSISSA KÄYTETYT LAITTEET

Komponentti	Mittalaite	Mittausalue	Kalibrointikaasu
Kiintoaine	EMES 3866	0 – 50 mg/m ³ n	
NO _x	HORIBA PG 250	0 – 2500 ppm	0 / 200 ppm
CO	HORIBA PG 250	0 – 5000 ppm	0 / 200 ppm
CO ₂	HORIBA PG 250	0 – 20 %	0 / 12 %
O ₂	HORIBA PG 250	0 – 25 %	0 / 20.9 %
TOC	THC MODEL 51	0 – 5000 ppm	0 / 225 ppm
Virtaus	MIKOR TT570SV		
Lämpötila	FLUKE thermo		

Mittalaitteet ovat kalibroitu ja lineaarisuustestattu.